



SKRIPSI-SK141501

**PENGARUH PENAMBAHAN ETILEN
GLIKOL, SUHU PEMANASAN DAN WAKTU
PEMANASAN TERHADAP NILAI
RESISTENSI POLA KONDUKTIF**

NAFIS QURTUBI
NRP 1412 100 062

Dosen Pembimbing I
Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.

Dosen Pembimbing II
Dra. Ita Ulfin, M.Si.

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



SCRIPT-SK141501

**THE EFFECT OF ETHYLENE GLYCOL
ADDITION, CURING TEMPERATURE AND
CURING TIME TO RESISTENCE VALUE OF
CONDUCTIVE PATTERN**

**NAFIS QURTUBI
NRP 1412 100 062**

**Supervisor I
Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.**

**Dosen Pembimbing II
Dra. Ita Ulfin, M.Si.**

**DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

**PENGARUH PENAMBAHAN ETILEN
GLIKOL, SUHU PEMANASAN DAN WAKTU
PEMANASAN TERHADAP NILAI
RESISTENSI POLA KONDUKTIF**

SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi S-1
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh:

NAFIS QURTUBI
NRP 1412 100 062

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN ETILEN GLIKOL, SUHU PEMANASAN DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP NILAI RESISTENSI POLA KONDUKTIF

SKRIPSI

Disusun oleh:

NAFIS QURTUBI
NRP 1412 100 062

Surabaya, 2 Januari 2017

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.
NIP 19740428 199802 1 001

Dosen Pembimbing II



Dra. Ita Ulfin, M.Si.
NIP 19650426 198903 2 002



Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia
Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.
NIP 19710616 199703 1 002

PENGARUH PENAMBAHAN ETILEN GLIKOL, SUHU PEMANASAN DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP NILAI RESISTENSI POLA KONDUKTIF

Nama : Nafis Qurtubi
NRP : 1412 100 062
Jurusan : Kimia FMIPA - ITS
Dosen Pembimbing I : Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.
Dosen Pembimbing II : Dra. Ita Ulfin, M.Si.

Abstrak

Tinta konduktif telah berhasil dibuat dari perak nitrat sebagai prekursor perak dan etilen glikol sebagai agen pereduksi. Tinta konduktif digoreskan pada permukaan *printed circuit board* (PCB) secara *direct writing*. Pola konduktif dihasilkan pada permukaan PCB setelah proses pemanasan. Nilai resistensi pola konduktif diukur dengan multimeter. Konduktivitas pola ditentukan dari nilai resistensi, dimana semakin kecil nilai resistensi maka semakin konduktif pola tersebut. Pengaruh variasi konsentrasi etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai resistensi juga telah dipelajari pada penelitian ini. Hasil terbaik diperoleh pada penambahan etilen glikol 20% dengan suhu pemanasan 230 °C selama 45 menit. Nilai resistensi rata-rata yang dihasilkan pada komposisi tersebut adalah sebesar 1,5898 Ω .

Kata kunci: Pola Konduktif, Perak Nitrat, Etilen Glikol, PCB.

THE EFFECT OF ETHYLENE GLYCOL ADDITION, CURING TEMPERATURE AND CURING TIME TO RESISTENCE VALUE OF CONDUCTIVE PATTERN

Name : Nafis Qurtubi
NRP : 1412 100 062
Department : Kimia FMIPA - ITS
Supervisor I : Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si.
Supervisor II : Dra. Ita Ulfin, M.Si.

Abstract

Conductive ink was successfully synthesized by silver ions from AgNO_3 and reducing agent (i.e., ethylene glycol). Conductive ink was scratched by direct writing on the surface of printed circuit board (PCB). Conductive pattern was obtained after heating process. The resistance value of conductive pattern was measured using multimeter. Conductivity is determined by the resistance value, where decreasing resistance value mean increasing the conductivity of pattern. The effect of ethylene glycol concentration, curing temperature and curing time towards resistance value also investigated. Best results can be achieved in the addition of 20% ethylene glycol at 230°C for 45 minutes. The average of resistance value on that composition was 1.5898Ω .

Keywords: *Conductive Pattern, Silver Nitrate, Ethylene Glycol, PCB.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga naskah skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Etilen Glikol, Suhu Pemanasan dan Waktu Pemanasan terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif”** dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih terutama disampaikan kepada :

1. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M. Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan dukungan selama proses penyusunan naskah skripsi ini
2. Dra. Ita Ulfin, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan dukungan selama proses penyusunan naskah skripsi ini
3. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA ITS atas fasilitas dan pengarahan yang diberikan selama ini
4. Ir. Endang Purwanti Setyaningsih, MT., selaku dosen wali atas pengarahannya dalam pengambilan mata kuliah.
5. Keluarga saya yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa untuk saya
6. Sahabat saya PURIK, teman-teman mahasiswa Kimia FMIPA, SPECTRA, dan teman-teman laboratorium instrumentasi dan sains analitik yang selalu membantu, memberikan semangat, doa dan dukungannya
7. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu

Semoga skripsi ini memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca dalam upaya menambah wawasan tentang ilmu kimia.

Surabaya, 2 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Hipotesa..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.6 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Tinta Konduktif..... | 5 |
| 2.1.1 Tinta Konduktif Nano Partikel | 6 |
| 2.1.2 Tinta Konduktif <i>Metal Organic Decomposition</i> (MOD) | 7 |
| 2.1.3 Tinta Konduktif Katalis..... | 8 |
| 2.1.4 Tinta Konduktif Redoks | 8 |
| 2.2 Perak Nitrat | 9 |
| 2.3 Etilen Glikol | 10 |
| 2.4 <i>Printed Circuit Board</i> (PCB) | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.5 Uji ANOVA | 12 |
| 2.6 Uji <i>Least Significant Difference</i> (LSD)..... | 14 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 17 |
| 3.1 Alat | 17 |
| 3.2 Bahan..... | 17 |
| 3.3 Prosedur Penelitian..... | 17 |
| 3.3.1 Pembuatan AgNO ₃ | 17 |
| 3.3.2 Pembuatan larutan etilen glikol 40% | 17 |
| 3.3.3 Pembuatan larutan etilen glikol 30% | 17 |
| 3.3.4 Pembuatan larutan etilen glikol 20% | 18 |
| 3.3.5 Pembuatan larutan etilen glikol 10% | 18 |
| 3.3.6 Pembuatan pola dengan variasi etilen glikol | 18 |
| 3.3.7 Pembuatan pola konduktif dengan variasi suhu pemanasan | 19 |
| 3.3.8 Pembuatan pola konduktif dengan variasi waktu pemanasan | 19 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 21 |
| 4.1 Pengukuran Resistensi pola konduktif pada variasi konsentrasi etilen glikol dalam tinta konduktif..... | 21 |
| 4.1.1 Uji ANOVA dan Uji LSD Data Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Konsentrasi Etilen Glikol | 23 |
| 4.2 Pengukuran resistensi pola konduktif pada variasi suhu pemanasan | 25 |
| 4.2.1 Uji ANOVA dan Uji LSD Data Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan | 27 |
| 4.3 Pengukuran Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Waktu Pemanasan | 28 |
| 4.3.1 Uji ANOVA dan Uji LSD Data Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan | 30 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 33 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 33 |
| 5.2 Saran..... | 33 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 35 |
| LAMPIRAN | 41 |
| Lampiran 1. Skema Kerja..... | 41 |
| Lampiran 2. Perhitungan | 42 |
| Lampiran 3. Data Analisis Sampel..... | 44 |
| BIODATA PENULIS..... | 49 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Tinta Konduktif Nano Partikel. | 7 |
| Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Tinta Konduktif MOD..... | 7 |
| Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Tinta Konduktif Katalis..... | 8 |
| Gambar 2. 4 Prinsip Kerja Tinta Konduktif Redoks. | 9 |
| Gambar 2. 5 Struktur perak nitrat..... | 9 |
| Gambar 2. 6 Struktur senyawa etilen glikol..... | 11 |
| Gambar 3. 1 Pena yang Telah Dimodifikasi..... | 19 |
| Gambar 4. 1 Tinta Konduktif Setelah Penambahan Etilen Glikol (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30% dan (e) 40%. | 21 |
| Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Konsentrasi Etilen Glikol pada Suhu Pemanasan 200°C Selama 30 Menit terhadap Nilai Resistensi..... | 23 |
| Gambar 4. 3 Pola Konduktif Setelah Pemanasan pada Suhu 170°C (a), 185°C (b), 200°C (c), 215°C (d), 230°C (e). | 26 |
| Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Suhu Pemanasan Selama 30 Menit terhadap Nilai Resistensi..... | 27 |
| Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Waktu Pemanasan pada Suhu 230°C terhadap Nilai Resistensi..... | 29 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 1 Variasi konsentrasi etilen glikol | 18 |
| Tabel 4. 1 Hasil Uji LSD Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Konsentrasi Etilen Glikol..... | 24 |
| Tabel 4. 2 Hasil Uji LSD Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan | 28 |
| Tabel 4. 3 Hasil Uji LSD Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Waktu Pemanasan | 31 |

*Karya ini ku persembahkan untuk
Mama, papa, saudara-saudara ku yang selalu mendukungku
Sahabatku “PURIK” yang terus menyemangati ku
Partner dalam tugas akhir saya, Rachmat Hisyam F
Tarisa Adani yang selalu mendukung dan menyemangati ku
Keluarga besar SPECTRA tercinta
Keluarga besar Kimia FMIPA ITS
Teman-teman laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik
Yang aku sayangi*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pola konduktif menarik perhatian pada bidang penelitian karena aplikasinya yang sangat luas pada pembuatan sirkuit elektronik (Torrissi dkk., 2012), transistor (Lee dkk., 2011), perangkat solar (Crisp dkk., 2014), layar sentuh (Hong dkk., 2013), elektroda (Bidoki dkk., 2007). Pengembangan pola konduktif dalam bidang elektronik adalah berupa fleksibel baterai, fleksibel elektroda (Rui dkk., 2011) dan sirkuit konduktif (Krebs dkk., 2009). Pola konduktif dapat diterapkan pada berbagai jenis substrat seperti plastik, kaca, polimer, dan *printed circuit board* (PCB) (Ghosale dkk., 2016). PCB sangat cocok digunakan sebagai substrat karena memiliki sifat kuat, ringan, tahan air, mudah diperoleh dan murah bila dibandingkan dengan material lain.

Beberapa metode yang telah digunakan untuk menerapkan pola konduktif pada substrat padat adalah litografi, *spin coating* (Lee dkk., 2016), *stamping* (Kim dkk., 2012), *sputtering* (Mickan dkk., 2016), dan penguapan pelarut kimia (Russo dkk., 2011). Metode-metode tersebut dapat menghasilkan lapisan yang halus pada substrat padat. Namun, membutuhkan lingkungan yang steril (bebas debu) dan mengeluarkan banyak biaya untuk mengontrol suhu. *Inkjet printing* adalah alat populer yang telah digunakan untuk aplikasi larutan tinta konduktif karena dapat dioperasikan dan dikontrol dengan mudah melalui komputer. Mudahnya pengoperasian tidak sejalan dengan pembuatan formula tinta konduktif untuk *inkjet printing* yang sulit. Jika formula tinta konduktif tidak tepat maka dapat merusak dan menyumbat *nozel cartridge* printer (Shankar dkk., 2011). Oleh karena itu, diperlukan metode yang sederhana dan mudah untuk penerapan tinta konduktif pada substrat. Metode penulisan langsung (*direct writing*) dengan pena dapat digunakan untuk penerapan tinta pada substrat. Metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu sederhana, cepat, murah dan lebih mudah digunakan (Ghosale dkk., 2016). Sehingga, metode *direct writing*

dapat digunakan untuk menggambar pola konduktif pada substrat PCB.

Terdapat 3 jenis tinta yang sering digunakan untuk membuat pola konduktif. Pertama, menggunakan larutan logam nano partikel yang memiliki suhu sintering yang cukup rendah karena berukuran nano (Abid dkk., 2002). Kedua, menggunakan larutan prekursor logam-organik yang dapat berubah menjadi logam pada suhu rendah (Dong dkk., 2015). Ketiga, menggunakan larutan senyawa logam seperti perak nitrat yang dapat berubah menjadi perak pada suhu tinggi ($> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Stern, 1972). Tinta yang berbasis perak sering digunakan dan diaplikasikan karena memiliki resistivitas yang rendah. Perak nanopartikel memerlukan agen pelindung atau penstabil dalam penerapannya. Dekomposisi dari agen pelindung dalam perak nanopartikel dapat mempengaruhi konduktivitasnya, sedangkan Metode dekomposisi logam organik tidak cocok digunakan pada substrat PCB karena tidak menempel dengan sempurna dan membutuhkan preparasi yang rumit Wu dkk (2009).

Jung-Tang Wu telah mengembangkan tinta konduktif dengan prekursor perak nitrat dan etilen glikol untuk pembuatan pola konduktif. Larutan perak nitrat dicetak menggunakan metode *inkjet printing* pada substrat polimer dan dipanaskan dengan etilen glikol secara terpisah pada satu sistem tertutup. Uap dari etilen glikol dapat mereduksi perak nitrat menjadi logam perak. Metode ini menggunakan *inkjet printing* yang memiliki kelemahan berupa penyumbatan *nozel cartridge* printer. Selain itu juga membutuhkan sistem tertutup yang rumit.

Penelitian ini menggunakan perak nitrat sebagai prekursor dan agen pereduksi berupa etilen glikol untuk membuat tinta konduktif dalam bentuk larutan. Tinta yang telah dibuat, dicetak menggunakan pena yang telah dimodifikasi pada substrat *printed circuit board* (PCB) secara *direct writing*. Pola yang dihasilkan setelah proses pemanasan, diukur nilai resistensinya menggunakan multimeter. Pengaruh penambahan etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai resistensi juga diteliti pada penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Pembuatan tinta konduktif selama ini menggunakan logam nanopartikel dan dekomposisi logam organik. Namun, tinta konduktif jenis tersebut membutuhkan agen pelindung dan preparasi yang rumit. Penerapan tinta konduktif menggunakan metode *inkjet printing* juga tidak mudah dilakukan karena formula tinta harus tepat agar tidak merusak *nozel cartridge* printer. Oleh karena itu, dibutuhkan pembuatan tinta konduktif dan metode penerapan tinta konduktif pada substrat yang sederhana.

1.3 Hipotesa

Berdasarkan sifat etilen glikol sebagai agen pereduksi dan ion perak yang mudah tereduksi dengan proses pemanasan maka dapat dihasilkan pola konduktif.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan pena termodifikasi untuk penerapan tinta konduktif pada PCB dengan variasi konsentrasi etilen glikol, suhu pemanasan dan waktu pemanasan.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat tinta konduktif secara sederhana dan mengetahui pengaruh konsentrasi etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan terhadap resistensi pola konduktif.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi konsentrasi etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan untuk menghasilkan konduktivitas tinta yang baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinta Konduktif

Tinta konduktif adalah tinta yang hasil cetaknya dapat menghantarkan arus listrik. Sebuah tinta dapat memiliki karakter konduktif dengan memasukan materi konduktif, seperti grafit, polimer, keramik, atau logam (Osborn, 2013). Tinta konduktif adalah tinta yang menghasilkan pola konduktif jika dicetak pada substrat. Tinta konduktif pada umumnya dibuat dengan cara memasukan material konduktif kedalam tinta. Terdapat 4 jenis tinta yang digunakan dalam pasar *inkjet* digital dan manufaktur PCB. Tinta berbahan dasar air, berbahan dasar minyak, berbahan dasar pelarut kimia dan UV (Karaguzel, 2006).

Tinta juga dapat diklasifikasikan menurut elemen konduktif yang ada di dalamnya seperti tinta konduktif karbon, tinta keramik dan tinta konduktif yang mengandung logam. Tinta konduktif karbon digunakan untuk menggantikan logam mulia seperti emas untuk aplikasi sebagai konduktor, resistor dan keramik.. Serbuk logam atau logam mulia memiliki konduktifitas yang lebih tinggi daripada karbon sehingga tinta konduktif karbon tidak cocok untuk digunakan pada aplikasi pola konduktif. Tinta konduktif karbon digunakan untuk menggantikan plating emas pada PCB untuk melindungi titik kontak pada tepi PCB. Tinta konduktif karbon juga digunakan sebagai agen anti-imigrasi dengan cara dicetak di atas konduktor perak untuk mencegah terjadinya migrasi perak. Migrasi perak adalah sebuah kegagalan mekanisme dimana kelembapan menjembatani ruang antara 2 ikatan perak konduktor dikarenakan tegangan dan meningkatnya kelembapan udara (Dietrich, 1997).

Tinta konduktif keramik yang digunakan untuk *inkjet printing* adalah suspensi dari serbuk yang larut sempurna dalam cairan pembawa. Tinta konduktif terdiri dari partikel keramik, pelarut organik dan zat aditif seperti dispersan dan ion konduktif. Pelarut organik digunakan untuk mengatur waktu pengeringan dan membantu transfer partikel keramik dari printer ke substrat. Partikel keramik tersebar secara homogen dalam larutan oleh

dispersan. Jika tinta tidak homogen dan tidak terlarut sempurna maka resistensi yang dihasilkan tidak konsisten dan menyumbat nozel *cartridge* printer (Teng dan Edirisinghe, 1997).

Tinta konduktif yang mengandung logam merupakan tinta konduktif yang paling banyak aplikasinya karena memiliki resistensi yang rendah. Logam yang digunakan antara lain tembaga, perak, nikel dan emas. Logam yang sering digunakan adalah perak (Keeler, 1985). Perak memiliki kelebihan biaya murah dan konduktivitasnya stabil dalam jangka panjang. Emas jauh lebih mahal dan lebih tidak konduktif daripada perak. Emas dan perak menghasilkan lapisan logam oksida yang sangat konduktif (Banfield, 2000). Tembaga dan nikel memiliki konduktivitas yang tidak stabil disebabkan oleh oksidasi pada partikel di permukaan terutama pada suhu tinggi (Nazarenko dan Lazaridis, 1982).

Tinta konduktif dengan materi logam lebih digemari dikarenakan memiliki konduktifitas yang baik. Terdapat 4 jenis tinta konduktif dengan metode *inkjet printing* yang menggunakan logam sebagai material konduktifnya antara lain tinta konduktif nano partikel, tinta konduktif MOD, tinta konduktif katalis, dan reaksi sistem *inkjet* (Chen dkk., 2015).

2.1.1 Tinta Konduktif Nano Partikel

Logam yang sering digunakan untuk tinta konduktif adalah perak, tembaga, dan emas karena menghasilkan konduktivitas yang baik pada pola konduktif. Jenis tinta yang sering digunakan adalah tinta nano partikel. Prinsip kerja tinta nano partikel dapat dilihat pada Gambar 2.1. Tinta nano partikel terdiri dari suspensi logam nano partikel dan *stabilizer* untuk mencegah flokulasi partikel atau penyumbatan *nozel*. Pola konduktif dari tinta nano partikel memiliki suhu pemanasan yang relatif tinggi untuk menghilangkan zat organik non-konduktif dan agen penstabil yang dapat mengganggu konduktifitas pola konduktif. Tinta nano partikel tidak sesuai jika diaplikasikan pada substrat polimer atau plastik yang tidak tahan terhadap suhu tinggi sehingga para peneliti menggunakan berbagai alternatif dalam proses *sintering*, misalnya microwave (Perelaer dkk.,

2006), laser *curing* (Perelaer dkk., 2010), plasma *treatment* (Reinhold dkk., 2009) dan sintering kimia (Layani dkk., 2013).



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Tinta Konduktif Nano Partikel.

2.1.2 Tinta Konduktif *Metal Organic Decomposition* (MOD)

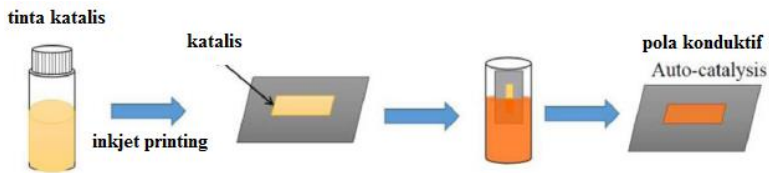
Tinta konduktif MOD terbuat dari pelarut organik dan garam logam dengan konsentrasi tinggi. Garam logam terdekomposisi menjadi logam konduktif pada suhu pemanasan tertentu. Tinta konduktif MOD sering diberi agen pereduksi, yang berfungsi untuk membantu terbentuknya pola konduktif, agen pereduksi yang digunakan bisa berupa senyawa yang memiliki gugus fungsi aldehyd secara langsung atau senyawa yang akan muncul gugus aldehydnya ketika dipanaskan (Tao dkk., 2013). Prinsip kerja tinta konduktif MOD dapat dilihat pada Gambar 2.2. Prinsip kerja tinta konduktif MOD hampir sama dengan tinta konduktif nano partikel. Namun, proses pembuatan tinta konduktif MOD cukup rumit dan membutuhkan beberapa langkah sintesis.



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Tinta Konduktif MOD

2.1.3 Tinta Konduktif Katalis

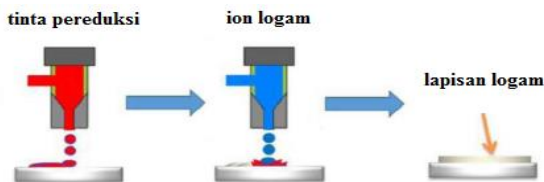
Tinta konduktif katalis memiliki prinsip yang hampir sama dengan tinta konduktif MOD. Namun, tinta konduktif katalis tidak memerlukan pemanasan untuk membentuk pola konduktif melainkan menggunakan katalis untuk mereduksi ion logam menjadi logam padat. Prinsip kerja tinta konduktif katalis dapat dilihat pada Gambar 2.3. Proses pembuatan pola konduktif menggunakan tinta katalis yang pertama adalah preparasi substrat, kemudian mencetak katalis pada substrat dan yang terakhir adalah *recovery* logam dengan cara memasukkan substrat yang telah terdapat pola katalis ke dalam larutan ion logam. Katalis yang sering digunakan adalah paladium yang dapat mereduksi larutan ion logam tembaga.



Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Tinta Konduktif Katalis.

2.1.4 Tinta Konduktif Redoks

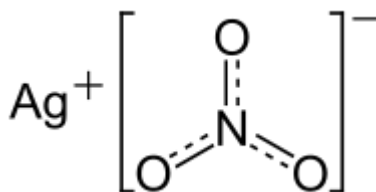
Tinta konduktif redoks menggunakan ion logam dan agen pereduksi untuk membentuk pola konduktif. Ion logam dan agen pereduksi dicetak pada substrat menggunakan *cartridge* yang berbeda. Proses reduksi ion logam terjadi saat ion logam bertemu dengan agen pereduksi dipermukaan substrat sehingga tidak memerlukan pemanasan. Namun, proses ini memerlukan *drop landing* yang akurat dan kecepatan drop yang selaras dalam metode *printing* yang cukup sulit untuk dilakukan. Prinsip kerja pembuatan tinta konduktif redoks dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Prinsip Kerja Tinta Konduktif Redoks.

2.2 Perak Nitrat

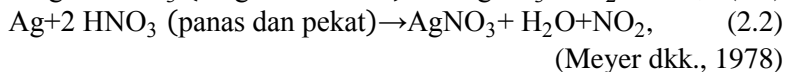
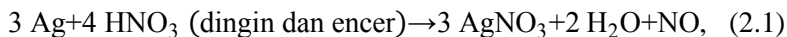
Perak nitrat merupakan senyawa anorganik dengan rumus molekul AgNO_3 . AgNO_3 merupakan prekursor serbaguna untuk senyawa – senyawa perak. Senyawa ini memiliki sifat lebih tahan terhadap cahaya dibandingkan dengan senyawa halida. AgNO_3 berupa padatan berwarna putih, tidak berbau, dan berasa pahit. Perak nitrat memiliki titik didih 440°C dan titik lebur 212°C (Wu dkk., 2009). Perak nitrat memiliki struktur pada Gambar 2.5. Perak nitrat adalah garam perak yang relatif mudah didapatkan dan murah. Perak nitrat memiliki beberapa keuntungan, seperti memiliki sifat tidak higroskopis, stabil terhadap cahaya dan dapat larut dalam berbagai pelarut termasuk air (Abid dkk., 2002).



Gambar 2. 5 Struktur perak nitrat.

Perak nitrat dapat dibuat dengan cara melarutkan logam perak dengan asam nitrat, namun perak merupakan logam reaktif yang sukar larut dalam asam yang memiliki konsentrasi rendah. Oleh karena itu diperlukan oksidator untuk mengoksidasi perak menjadi bentuk ion. Asam nitrat merupakan asam kuat yang

bersifat oksidator sehingga dapat melarutkan perak pada suhu 90 °C dengan reaksi sebagai berikut:

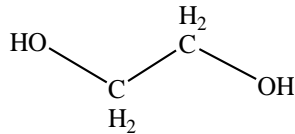


Beberapa penggunaan perak nitrat dalam industri :

- a. Plating : Perak nitrat secara efektif digunakan dalam proses elektroplating. Perak nitrat biasanya digunakan untuk penyepuhan pada nikel dengan menggunakan listrik. Jenis plating biasanya digunakan untuk memproduksi jam tangan.
- b. Cermin : Salah satu proses paling terkemuka yang menggunakan perak nitrat, adalah “Reagen Tollens”, di mana perak nitrat digunakan pada sisi belakang cermin untuk memberikan refleksi yang jelas dan rinci. Lapisan perak nitrat yang diterapkan ke cermin dikenal sebagai reflektor.
- c. Pewarna dan Tinta : Selain menggunakan industri seperti plating, perak nitrat juga digunakan dalam berbagai pewarna dan tinta yang termasuk pewarna rambut (Stern, 1972).

2.3 Etilen Glikol

Etilen glikol (1,2-etanediol) memiliki rumus molekul $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ merupakan senyawa diol yang sederhana. Etilen glikol memiliki struktur seperti pada Gambar 2.6. Senyawa diol merupakan senyawa yang mempunyai dua gugus hidroksil (OH). Senyawa ini pertama ditemukan oleh Wurtz pada tahun 1859, dengan perlakuan (reaksi) dari 1,2 dibromo etana dengan perak asetat menghasilkan etilen glikol diasetat, dilanjutkan dengan proses hidrolisis menjadi etilen glikol. Etilen glikol pertama kali digunakan di industri selama Perang Dunia I sebagai produk antara pada pembuatan bahan peledak (etilen glikol dinitrat), kemudian dikembangkan menjadi produk utama suatu industri. Secara luas, kapasitas produksi etilen glikol melalui proses hidrolisis dari etilen oksida diperkirakan mencapai 7×10^6 ton/tahun.



Gambar 2. 6 Struktur senyawa etilen glikol

Etilen glikol merupakan cairan jenuh, tidak berwarna, tidak berbau, berasa manis dan larut sempurna dalam air. Secara komersial, etilen glikol di Indonesia digunakan sebagai bahan baku industri poliester (tekstil) sebesar 97,34%. Sedangkan sisanya sebesar 2,66% digunakan sebagai bahan baku tambahan pada pembuatan cat, minyak rem, solven, alkil resin, tinta cetak, tinta ballpoint, *foam stabilizer*, kosmetik, dan bahan anti beku (*anti freeze*).

Sampai akhir tahun 1981, hanya ada 2 proses pembuatan etilen glikol secara komersial. Yang pertama hidrasi etilen oksida yang sejak tahun 1968 sampai 1981 merupakan dasar dari semua proses pembuatan etilen glikol. Kedua didasarkan pada reaksi formaldehid dengan karbon monoksida yang dipakai oleh Du pont dari tahun 1938 sampai tahun 1968, saat ini proses ini dihentikan. Meskipun dari proses formaldehid du pont tidak pernah melebihi 8% dari keseluruhan produksi etilen glikol di Amerika Serikat, tetapi perlu juga diketahui sebagai proses yang pernah ada. Teknologi pembuatan etilen glikol diantaranya adalah proses formaldehid du pont, proses hidrasi etilen oksida, proses oksiklorinasi, proses union carbide-ube signas (Hollis dkk., 2002). Etilen glikol biasa digunakan dalam industri poliester, anti *freeze*, tinta pena, dan kosmetik.

2.4 Printed Circuit Board (PCB)

(PCB) atau *printed circuit board* yang artinya adalah papan sirkuit cetak, merupakan sebuah papan tipis yang terbuat dari sejenis fiber sebagai media isolasinya, yang digunakan untuk meletakkan komponen elektronika, yang dipasang dan dirangkai, di mana salah satu sisinya dilapisi tembaga untuk menyolder kaki kaki komponen. PCB juga memiliki jalur-jalur konduktor yang

terbuat dari tembaga dan berfungsi untuk menghubungkan antara satu komponen dengan komponen lainnya (Du dkk., 2016).

Ketebalan tembaga pada PCB bermacam macam, ada yang 35 mikrometer ada juga yang 17-18 mikrometer. Bahan lainnya adalah *paper phenolic* atau pertinax, biasanya berwarna coklat, bahan jenis ini lebih populer karena harganya yang lebih murah. Ada juga yang dibuat dari bahan *fiberglass* yang di pakai untuk *Through hole plating*, karena materialnya lebih kuat dan tidak mudah bengkok di bandingkan yang berbahan pertinax (Estrada-Ruiz dkk., 2016).

PCB atau Printed Circuit Board ini memiliki beberapa macam sesuai dengan fungsinya, yaitu satu sisi (biasa digunakan pada rangkaian elektronika seperti radio, TV, dll), dua sisi (dapat digunakan untuk menghubungkan komponen di kedua sisinya) dan multi side (bagian PCB luar maupun dalam digunakan sebagai media penghantar, misalnya pada rangkaian-rangkaian PC).

Dalam pembuatannya, banyak cara yang dapat dilakukan, baik secara manual atau konvensional hingga menggunakan software sebagai alat bantu, yaitu:

1. Teknik *Fotorealist*, pada proses ini dibutuhkan beberapa alat dan bahan yaitu: Lampu UV, Larutan Positif-20 dan larutan NaOH.
2. Teknik Sablon, teknik ini hampir sama dengan sablon biasa dimana dibutuhkan bahan-bahan seperti kasa-*screen*, tiner sablon, cat dan lain-lain.
3. Cetak Langsung, pada proses ini digunakan teknik khusus untuk menyalin layout yaitu digunakan mesin printer khusus yang telah dimodifikasi
4. Teknik Transfer Paper, teknik ini merupakan cara paling murah dan mudah.

2.5 Uji ANOVA

Analisis of Variance atau ANOVA merupakan salah satu uji parametrik yang berfungsi untuk membedakan nilai rata-rata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya. Prinsip uji ANOVA adalah melakukan analisis

variabilitas data menjadi dua sumber variasi yaitu variasi di dalam kelompok (*within*) dan variasi antar kelompok (*between*). Bila variasi *within* dan *between* sama (nilai perbandingan kedua varian mendekati angka satu), berarti nilai *mean* yang dibandingkan tidak ada perbedaan. Sebaliknya bila variasi antar kelompok lebih besar dari variasi didalam kelompok, nilai *mean* yang dibandingkan menunjukkan adanya perbedaan. Uji ANOVA dapat dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan jumlah variabel yang diamati, yaitu *One Way ANOVA* dan *Two Way ANOVA*. *One Way ANOVA* digunakan bila ada satu variabel yang ingin diamati, sedangkan *Two Way ANOVA* digunakan apabila terdapat dua variabel yang ingin diamati (Henson, 2015).

Uji ANOVA digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata lebih dari dua sampel. Pengujian ANOVA diawali dengan menentukan H_0 dan H_1 . H_0 yaitu tidak terdapat perbedaan yang signifikan sedangkan H_1 yaitu terdapat perbedaan yang signifikan. Setelah itu, tentukan taraf nyata pengujian (α) yang pada umumnya menggunakan 0,05. Kemudian menentukan *degree of freedom* (*df*) untuk variasi *between* dan *within* menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2).

$$df_{between} = k - 1 \quad (2.1)$$

$$df_{within} = N - k \quad (2.2)$$

k adalah banyaknya perlakuan atau variasi dan N adalah banyaknya data yang ada. Setelah itu hitung *sum of square* (*SS*) untuk variasi *between*, variasi *within* dan *SS* keseluruhan menggunakan persamaan (2.3)-(2.5).

$$SS_{between} = \sum \left(\frac{T_c^2}{n_c} \right) - \frac{(\sum x)^2}{N} \quad (2.3)$$

$$SS_{total} = \sum (x)^2 - \frac{(\sum x)^2}{N} \quad (2.4)$$

$$SS_{within} = SS_{total} - SS_{between} \quad (2.5)$$

T_c adalah jumlah nilai seluruh data pada suatu perlakuan, n_c adalah banyaknya data pada satu perlakuan dan x adalah nilai tiap data. F hitung dapat ditentukan bila nilai *mean Square* (*MS*) untuk variasi *between* dan *within* sudah ditentukan. Persamaan untuk

menghitung $MS_{between}$ dan MS_{within} dapat dilihat pada persamaan 2.6 dan 2.7.

$$MS_{between} = \frac{SS_{between}}{df_{between}} \quad (2.6)$$

$$MS_{within} = \frac{SS_{within}}{df_{within}} \quad (2.7)$$

Jika $MS_{between}$ dan MS_{within} sudah ditentukan, maka F hitung dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.8).

$$F \text{ hitung} = \frac{MS_{between}}{MS_{within}} \quad (2.8)$$

Setelah F hitung dapat ditentukan maka dapat dibandingkan dengan F kritis (Sauro dan Lewis, 2016). Uji ANOVA dituliskan dalam tabel seperti pada Lampiran 3.5. Aturan pengambilan keputusannya yaitu jika F hitung lebih kecil dari F kritis maka H_0 diterima artinya menurut statistik tidak terdapat perbedaan secara signifikan secara keseluruhan. Jika F hitung lebih besar dari F kritis maka H_0 ditolak dan H_1 diterima berarti menurut statistik terdapat perbedaan yang signifikan secara keseluruhan (Rossi dan Mirtchev, 2016).

2.6 Uji *Least Significant Difference* (LSD)

Uji ANOVA hanya mampu menunjukkan ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan pada keseluruhan perlakuan. Uji ANOVA tidak dapat mengetahui pada perlakuan mana saja yang memiliki perbedaan yang signifikan sehingga dibutuhkan metode uji lain. Uji ANOVA hanya memberikan indikasi tentang ada tidaknya beda antar rata-rata dari keseluruhan perlakuan, namun belum memberikan informasi tentang ada tidaknya perbedaan antara individu perlakuan yang satu dengan individu perlakuan lainnya. Sederhananya bila ada 5 perlakuan yang ingin diuji, misalnya perlakuan A, B, C, D, dan E. Maka bila uji ANOVA menginformasikan adanya perbedaan yang signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan terdapat perbedaan yang signifikan antar rata-rata perlakuan, namun belum tentu rata-rata perlakuan A berbeda dengan rata-rata perlakuan B, dan seterusnya. Uji BNt (Beda Nyata terkecil) atau yang lebih dikenal sebagai uji LSD (Least Significance Different) adalah metode yang diperkenalkan oleh Ronald Fisher. Metode

ini menjadikan nilai BNt atau nilai LSD sebagai acuan dalam menentukan apakah rata-rata dua perlakuan berbeda secara statistik atau tidak. Nilai LSD dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9).

$$LSD = \left(t_{\alpha, df_{within}} \right) \times \sqrt{\frac{2 \times MS_{within}}{n_c}} \dots\dots\dots (2.9)$$

t adalah t-tabel. Kemudian nilai LSD dibandingkan dengan selisih rata-rata antara perlakuan satu dengan perlakuan lainnya. Jika selisih rata-rata antara dua perlakuan lebih kecil dari nilai LSD, maka secara statistik tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Namun, jika selisih rata-rata antara dua perlakuan lebih besar dari nilai LSD, maka secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil uji LSD dipermudah dengan sistem notasi, yaitu memberikan notasi *superscript* pada masing-masing perlakuan. Jika perlakuan yang memiliki notasi sama maka perlakuan tersebut tidak memiliki perbedaan secara signifikan. Sebaliknya, jika perlakuan memiliki notasi yang berbeda maka perlakuan tersebut memiliki perbedaan yang signifikan (Williams and Abdi, 2010).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat

Peralatan dan instrumentasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaca arloji, gelas beker, neraca digital, pipet tetes, pro pipet, pipet ukur, labu ukur, corong kaca, spatula kaca, *ultrasonic cleaner*, oven (freas mechanical convection 605), botol vial, digit multimeter KEITHLEY 2100, *magnetic stirrer*, hotplate, penangas es.

3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain logam perak yang diperoleh dari toko kader, asam nitrat 65% (SAP Chemical), etilen glikol 99,5% (Aldrich), aqua DM, *printed circuit board* (PCB) fiber.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan AgNO_3

Sebanyak 5,00 gram logam perak dimasukan ke dalam gelas beker 100 mL. Kemudian ditambahkan 6 mL asam nitrat 65%. Setelah itu dipanaskan dengan hotplate pada suhu 90 °C hingga terbentuk perak nitrat, kemudian perak nitrat dipanaskan di dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam.

3.3.2 Pembuatan larutan etilen glikol 40%

Sebanyak 10,5 mL etilen glikol 99,5% dimasukan dalam labu ukur 25 mL. Kemudian ditambahkan aqua DM hingga tanda batas lalu dikocok.

3.3.3 Pembuatan larutan etilen glikol 30%

Sebanyak 18,75 mL larutan etilen glikol 40% dimasukan ke dalam labu ukur 25 mL. Kemudian ditambahkan aqua DM hingga tanda batas lalu dikocok.

3.3.4 Pembuatan larutan etilen glikol 20%

Sebanyak 5 mL larutan etilen glikol 40% dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL. Kemudian ditambahkan aqua DM hingga tanda batas lalu dikocok beberapa kali.

3.3.5 Pembuatan larutan etilen glikol 10%

Sebanyak 2,5 mL larutan etilen glikol 40% dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL. Kemudian ditambahkan aqua DM hingga tanda batas lalu dikocok beberapa kali.

3.3.6 Pembuatan pola dengan variasi etilen glikol

Sebanyak 0,5000 gram perak nitrat dilarutkan dalam 2 mL aqua DM. Kemudian diaduk dengan *magnetic stirer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit, setelah itu ditambahkan etilen glikol sebanyak 1 mL. Konsentrasi etilen glikol yang digunakan sesuai dengan Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi konsentrasi etilen glikol

| AgNO ₃ (gram) | Aqua DM (mL) | Etilen glikol (1 mL) |
|--------------------------|--------------|----------------------|
| 0,5 | 2 | 0% |
| 0,5 | 2 | 10% |
| 0,5 | 2 | 20% |
| 0,5 | 2 | 30% |
| 0,5 | 2 | 40% |

Kemudian campuran diaduk menggunakan *magnetic stirer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit. Setelah itu tinta dimasukkan dalam pena yang telah dimodifikasi. Kemudian dibuat pola garis lurus sepanjang 5 cm sebanyak 5 garis pada substart PCB. Pola konduktif dipanaskan dengan oven pada suhu 200 °C selama 30 menit. Setelah selesai, pola konduktif dihitung resistensinya menggunakan multimeter dengan jarak pengukuran 2 cm.

3.3.7 Pembuatan pola konduktif dengan variasi suhu pemanasan

Sebanyak 0,5000 gram perak nitrat dilarutkan dalam 2 mL aqua DM. Kemudian diaduk dengan *magnetic stirer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit, setelah itu ditambahkan etilen glikol 20% sebanyak 1 mL. Kemudian larutan diaduk dengan *magnetic stirer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit. Setelah itu, tinta dimasukkan ke dalam pena yang telah dimodifikasi seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Pena yang Telah Dimodifikasi.

3.3.8 Pembuatan pola konduktif dengan variasi waktu pemanasan

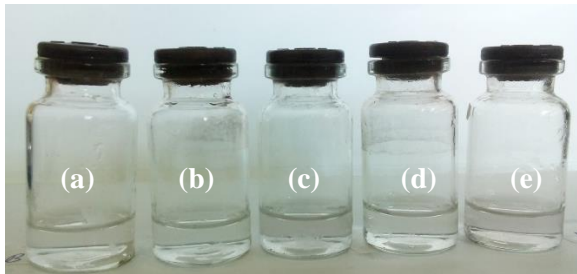
Sebanyak 0,5000 gram perak nitrat dilarutkan dalam 2 mL aqua DM. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit, setelah itu ditambahkan etilen glikol 20% sebanyak 1 mL. Kemudian larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit. Setelah itu, tinta dimasukkan ke dalam pena yang telah dimodifikasi. Kemudian dibuat pola garis lurus sepanjang 5 cm sebanyak 5 garis pada substart PCB. Kemudian hasil cetak dipanaskan dengan oven pada suhu 230 °C dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Setelah selesai, pola konduktif dihitung resistensinya dengan multimeter dengan jarak pengukuran 2 cm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Resistensi pola konduktif pada variasi konsentrasi etilen glikol dalam tinta konduktif

Tinta konduktif dibuat dengan pelarutan 0,5 gram perak nitrat, 2 mL aqua DM, dan 1 mL etilen glikol dengan variasi konsentrasi etilen glikol yaitu 0, 10, 20, 30 dan 40%. Perak nitrat digunakan sebagai prekursor dalam pembuatan tinta konduktif karena perak nitrat merupakan senyawa logam yang memiliki presentase perak cukup besar yaitu 63,5%. Selain itu, pengolahannya untuk menjadi tinta konduktif tergolong mudah. Etilen glikol sebagai agen pereduksi sangat efektif mereduksi perak nitrat menjadi logam perak pada suhu tertentu. Tinta konduktif yang dihasilkan tidak berwarna seperti pada Gambar 4.1.



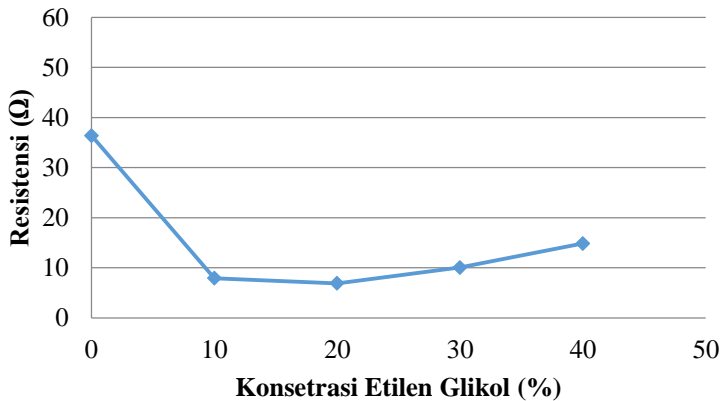
Gambar 4. 1 Tinta Konduktif Setelah Penambahan Etilen Glikol
(a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30% dan (e) 40%.

Tinta yang telah dibuat, kemudian dimasukan dalam pena yang telah dimodifikasi. Pola konduktif dicetak pada media PCB sebanyak 5 garis untuk setiap variasi konsentrasi etilen glikol. Selama proses pemanasan, gugus alkohol pada etilen glikol berubah menjadi karboksilat dan mereduksi ion perak menjadi endapan perak sesuai dengan persamaan reaksi 4.1.



Tinta konduktif dipanaskan pada suhu 200 °C karena jika dipanaskan kurang dari suhu tersebut, maka laju reduksi jauh lebih rendah daripada laju penguapan etilen glikol sehingga perak nitrat tidak tereduksi secara menyeluruh. Laju reduksi meningkat pada suhu 200 °C disebabkan oleh adanya kenaikan suhu. Pada kondisi tersebut, proses reduksi selesai sebelum seluruh etilen glikol menguap (Chang dkk., 2012). Pola konduktif dihasilkan setelah selesai proses pemanasan. Resistensi dari pola konduktif diukur menggunakan multimeter. Hasil pengukuran resistensi pada pola konduktif disajikan pada Lampiran 3.1. Berdasarkan Lampiran 3.1 pengukuran resistensi pada pola cetak konduktif menunjukkan resistensi terkecil pada variasi konsentrasi etilen glikol 20% dengan resistensi rata-rata sebesar 6,9010 Ω. Pengaruh konsentrasi etilen glikol dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Berdasarkan Gambar 4.2 maka konsentrasi etilen glikol mempengaruhi nilai resistensi pola konduktif. Pola konduktif dengan variasi konsentrasi etilen glikol 10% dan 0% (< 20%) memiliki resistensi yang cukup tinggi dikarenakan jumlah etilen glikol tidak cukup banyak untuk mereduksi perak nitrat secara keseluruhan. Sedangkan pada konsentrasi etilen glikol 30% dan 40% (> 20%) nilai resistensi kembali meningkat hal ini disebabkan karena jumlah etilen glikol yang dalam larutan cukup banyak sehingga saat menguap maka dapat merusak pola konduktif.



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Konsentrasi Etilen Glikol pada Suhu Pemanasan 200°C Selama 30 Menit terhadap Nilai Resistensi

4.1.1 Uji ANOVA dan Uji LSD Data Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Konsentrasi Etilen Glikol

Uji ANOVA dilakukan untuk menguji perbedaan pada data resistensi pola konduktif dengan variasi etilen glikol. Jika F hitung lebih kecil dari F kritis maka secara umum tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Sebaliknya, jika F hitung lebih besar dari F kritis maka secara umum terdapat perbedaan yang signifikan pada data keseluruhan. Uji ANOVA tidak dapat menentukan ada atau tidak ada perbedaan yang signifikan antar perlakuan. Perhitungan data statistik nilai resistensi pola konduktif dengan variasi konsentrasi etilen glikol disajikan pada Lampiran 3.4. Uji ANOVA nilai resistensi pola konduktif pada variasi konsentrasi etilen glikol ditunjukkan pada Lampiran 3.5.

Uji *Least Significance Different* (LSD) adalah metode yang diperkenalkan oleh Ronald Fisher. Metode ini mengacu pada nilai LSD untuk menentukan apakah rata-rata dua perlakuan berbeda secara statistik atau tidak. Uji LSD dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan atau tidak pada tiap perlakuan variasi konsentrasi etilen glikol. Jika selisih rata-rata

antara 1 individu perlakuan dengan 1 individu perlakuan lain lebih kecil dari nilai LSD, maka 2 perlakuan tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan secara statistik. Sebaliknya, jika selisih rata-rata antara 1 individu perlakuan dengan 1 individu perlakuan lain lebih besar dari nilai LSD, maka 2 perlakuan tersebut memiliki perbedaan yang signifikan secara statistik.

Lampiran 3.5 menunjukkan hasil uji ANOVA dimana F hitung lebih besar dari F kritis sehingga secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan pada variasi konsentrasi etilen glikol. Oleh karena itu, dilakukan uji LSD untuk mengetahui perlakuan yang memiliki perbedaan secara signifikan. Perhitungan uji LSD menggunakan persamaan (2.9) disajikan pada Lampiran 2. Nilai LSD untuk data variasi konsentrasi etilen glikol adalah 16,108. Jika selisih rata-rata antara satu perlakuan dengan satu perlakuan yang lain kurang dari 16,108 maka secara statistik tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Sebaliknya, jika selisih rata-rata antara satu perlakuan dengan satu perlakuan yang lain lebih dari 16,108 maka secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil uji LSD disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Uji LSD Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Konsentrasi Etilen Glikol

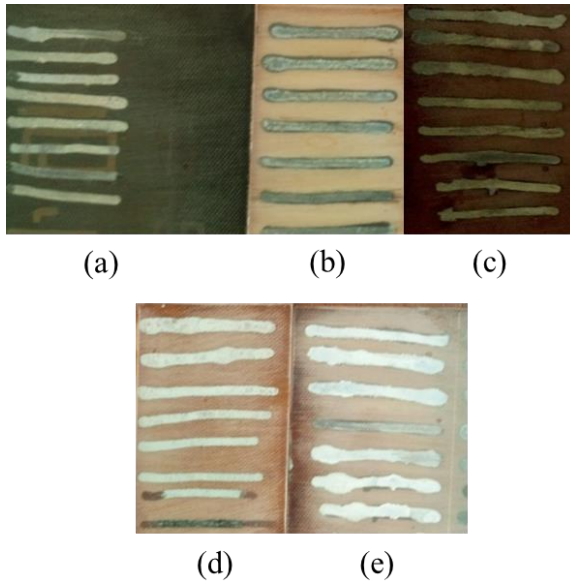
| Konsentrasi Etilen Glikol (%) | Rata-rata Nilai Resistensi (Ω) |
|-------------------------------|---|
| 0 | 36.394 ^b |
| 10 | 7.918 ^a |
| 20 | 6,901 ^a |
| 30 | 10,503 ^a |
| 40 | 14,581 ^a |

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa antara perlakuan penambahan konsentrasi etilen glikol 0% dan 10% secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan etilen glikol 10% menghasilkan pola konduktif yang lebih baik konduktivitasnya bila dibandingkan dengan penambahan etilen glikol 0% yang ditandai dengan resistensi

yang dihasilkan pada penambahan etilen glikol 10% lebih kecil dari pada resistensi yg dihasilkan pada penambahan etilen glikol 0%. Sedangkan untuk penambahan konsentrasi etilen glikol 10, 20, 30 dan 40% secara statistik tidak berbeda secara signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa pada perlakuan tersebut menghasilkan pola konduktif dengan konduktifitas yang setara. Namun, penambahan etilen glikol 20% memiliki nilai resistensi paling kecil yaitu 6,901 Ω . Semakin kecil nilai resistensi maka semakin konduktif pola dari tinta konduktif yang dibuat sehingga penambahan etilen glikol 20% merupakan konsentrasi yang optimum dalam pembuatan tinta konduktif.

4.2 Pengukuran resistensi pola konduktif pada variasi suhu pemanasan

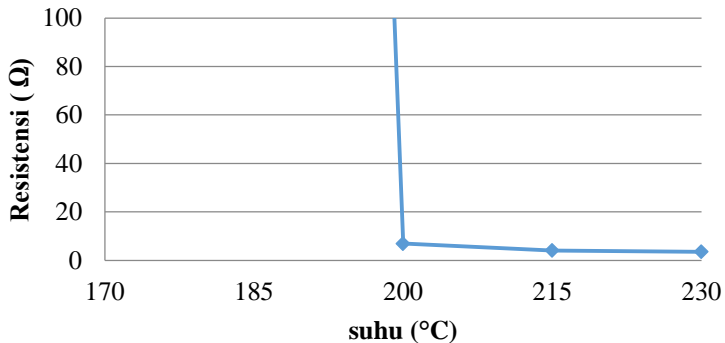
Tinta konduktif dibuat dengan pelarutan 0,5 gram perak nitrat, 2 mL aqua DM dan 1 mL etilen glikol 20%. Setelah itu tinta dimasukan dalam pena yang telah dimodifikasi. Tinta dicetak menjadi 5 pola konduktif pada masing-masing variasi suhu pemanasan. Setelah itu dipanaskan dalam oven pada variasi suhu 170, 185, 200, 215 dan 230°C selama 30 menit. Variasi suhu pemanasan dilakukan untuk mengetahui suhu efektif untuk proses reduksi perak nitrat oleh etilen glikol. Hasil pola cetak terlihat seperti pada Gambar 4.3. Kemudian diukur resistensinya dengan multimeter. Hasil pengukuran resistensi pada pola konduktif disajikan pada Lampiran 3.2.



Gambar 4. 3 Pola Konduktif Setelah Pemanasan pada Suhu 170°C (a), 185°C (b), 200°C (c), 215°C (d), 230°C (e).

Berdasarkan Lampiran 3.2 pengukuran resistensi pada pola konduktif menunjukkan bahwa pola konduktif yang dipanaskan pada suhu 230°C memiliki resistensi rata-rata paling kecil yaitu 3,5202 Ω . Pengaruh suhu pemanasan dapat dilihat pada Gambar 4.4. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada suhu 170 dan 185°C memiliki resistensi yang sangat tinggi. Kemudian pada suhu 200, 215 dan 230 °C memiliki resistensi yang rendah dan semakin menurun. Hal ini dikarenakan titik leleh perak nitrat adalah 212 °C sehingga proses reduksi dapat berjalan efektif (Wu dkk., 2009). Hal ini juga didukung oleh hasil foto pola cetak pada Gambar 4.3 yang menunjukkan pola konduktif dari suhu 170 hingga 230 °C semakin mengkilap mengindikasikan bahwa perak nitrat yang tereduksi semakin banyak atau proses reduksi perak nitrat oleh etilen glikol lebih sempurna. Jadi disimpulkan bahwa

semakin tinggi suhu pemanasan maka nilai resistensinya semakin rendah. Resistensi rata-rata pada suhu 215 dan 230 memiliki selisih yang kecil sehingga suhu pemanasan dapat dilakukan pada 215 atau 230. Suhu pemanasan 245 tidak disarankan karena dapat merusak substrat PCB fiber.



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Suhu Pemanasan Selama 30 Menit terhadap Nilai Resistensi.

4.2.1 Uji ANOVA dan Uji LSD Data Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan

Perhitungan data statistik nilai resistensi pola konduktif dengan variasi suhu pemanasan disajikan pada Lampiran 3.6. Uji ANOVA nilai resistensi pola konduktif pada variasi suhu pemanasan disajikan pada Lampiran 3.7. Uji LSD dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan atau tidak pada tiap perlakuan variasi suhu pemanasan. Data variasi suhu pemanasan 170 °C tidak diuji ANOVA karena memiliki selisih nilai rata-rata terlalu jauh dengan data lainnya. Tabel 4.4 menunjukkan hasil uji ANOVA dimana F hitung lebih besar dari F kritis sehingga secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan pada variasi suhu pemanasan. Oleh karena itu, dilakukan uji LSD untuk mengetahui perlakuan yang memiliki perbedaan secara signifikan. Perhitungan untuk uji LSD dapat dilihat pada

Lampiran 2. Nilai LSD untuk data variasi suhu pemanasan adalah 232,516. Jika selisih rata-rata antara satu perlakuan dengan satu perlakuan yang lain kurang dari 16,108 maka secara statistik tidak terdapat perbedaan secara signifikan. Sebaliknya, jika selisih rata-rata antara satu perlakuan dengan satu perlakuan yang lain lebih dari 232,516 maka secara statistik terdapat perbedaan secara signifikan. Hasil uji LSD disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Uji LSD Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan

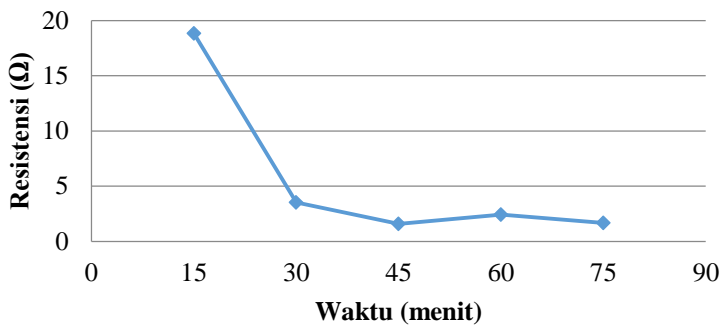
| Suhu Pemanasan (°C) | Rata-rata Nilai Resistensi (Ω) |
|---------------------|---|
| 185 | 1579,246 ^b |
| 200 | 6,901 ^a |
| 215 | 4,103 ^a |
| 230 | 3,520 ^a |

Rata-rata nilai resistensi yang memiliki notasi *superscript* yang sama menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa antara perlakuan suhu pemanasan 185 °C dan 200 °C secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan suhu pemanasan 200 °C menghasilkan pola konduktif yang lebih baik konduktivitasnya dibandingkan dengan perlakuan suhu pemanasan 180 °C. Sedangkan untuk suhu pemanasan 200, 215 dan 230 °C secara statistik tidak berbeda secara signifikan. Sehingga disimpulkan bahwa sifat konduktifitas yang dihasilkan sama rata. Namun, pada suhu pemanasan 230 °C memiliki resistensi paling rendah sehingga suhu 230 °C merupakan suhu optimum dalam pembuatan pola konduktif.

4.3 Pengukuran Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Waktu Pemanasan

Tinta konduktif dibuat dengan melarutkan 0,5 gram perak nitrat, 2 mL aqua DM dan 1 mL etilen glikol 20%. Kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu, 230°C dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Variasi waktu pemanasan dilakukan

untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan proses reduksi perak nitrat oleh etilen glikol. Tinta dicetak menjadi 5 pola konduktif pada masing – masing variasi waktu pemanasan. Kemudian diukur resistensinya menggunakan multimeter. Hasil pengukuran resistensi pada pola konduktif disajikan pada Lampiran 3.3. Pengukuran resistensi pada pola konduktif menunjukkan bahwa pola konduktif yang dipanaskan pada suhu 230°C memiliki resistensi rata-rata paling kecil yaitu $3,5202\ \Omega$ (Tabel 4.5). Pengaruh waktu pemanasan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Waktu Pemanasan pada Suhu 230°C terhadap Nilai Resistensi.

Gambar 4.5 menunjukkan pada waktu pemanasan selama 15 menit memiliki resistensi cukup tinggi karena dalam selang waktu tersebut etilen glikol tidak mereduksi AgNO_3 secara sempurna. Waktu pemanasan selama 30 menit memiliki resistensi yang cukup rendah, sedangkan pada waktu pemanasan selama 45, 60 dan 75 menit memiliki nilai resistensi yang rendah dan sudah stabil. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa waktu minimal yang dibutuhkan oleh etilen glikol untuk mereduksi perak nitrat adalah minimal selama 45 menit.

4.3.1 Uji ANOVA dan Uji LSD Data Resistensi Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan

Perhitungan data statistik nilai resistensi pola konduktif pada variasi waktu pemanasan untuk uji ANOVA disajikan pada Lampiran 3.8. Uji ANOVA nilai resistensi pola konduktif pada variasi waktu pemanasan disajikan pada Lampiran 3.9. Uji LSD dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan atau tidak pada tiap perlakuan variasi waktu pemanasan. Lampiran 3.9 menunjukkan hasil uji ANOVA dimana F hitung lebih besar dari F kritis sehingga secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan pada variasi suhu pemanasan. Oleh karena itu, dilakukan uji LSD untuk mengetahui perlakuan yang memiliki perbedaan secara signifikan. Perhitungan untuk uji LSD dapat dilihat pada Lampiran 2.

Nilai LSD untuk data variasi suhu pemanasan adalah 2,809. Jika selisih rata-rata antara satu perlakuan dengan satu perlakuan yang lain kurang dari 2,809 maka secara statistik tidak terdapat perbedaan secara signifikan. Sebaliknya, jika selisih rata-rata antara satu perlakuan dengan satu perlakuan yang lain lebih dari 2,509 maka secara statistik terdapat perbedaan secara signifikan. Hasil uji LSD disajikan pada Tabel 4.3. Tabel 4.3 menunjukkan bahwa antara perlakuan waktu pemanasan 15 dan 30 menit secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pola konduktif yang dihasilkan dengan waktu pemanasan 30 menit memiliki konduktifitas yang lebih baik daripada waktu pemanasan 15 menit. Sedangkan untuk waktu pemanasan 30, 45, 60 dan 75 menit secara statistik tidak berbeda secara signifikan sehingga dapat disimpulkan pada perlakuan tersebut menghasilkan pola konduktif dengan konduktifitas yang setara. Pola konduktif dengan resistensi paling rendah dihasilkan dengan waktu pemanasan selama 45 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pemanasan yang optimum untuk menghasilkan pola konduktif dengan resistensi yang rendah adalah 45 menit.

Tabel 4. 3 Hasil Uji LSD Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Waktu Pemanasan

| Waktu Pemansan (menit) | Rata-rata Nilai Resistensi (Ω) |
|---------------------------|--|
| 15 | 18,818 ^b |
| 30 | 3,520 ^a |
| 45 | 1,590 ^a |
| 60 | 2,419 ^a |
| 75 | 1,676 ^a |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tinta konduktif dapat dibuat dari perak nitrat dan etilen glikol, dimana penerapan pada substrat padat dapat dilakukan dengan metode yang lebih sederhana dan mudah yaitu *direct writing*.
2. Pola konduktif dengan penambahan etilen glikol 20% sebanyak 1 mL pada suhu pemanasan 200 °C selama 30 menit memiliki resistensi rata-rata paling rendah bila dibandingkan dengan penambahan etilen glikol dengan konsentrasi 0, 10, 30 dan 40% yaitu sebesar 6,901 Ω .
3. Pola konduktif dengan penambahan 1 mL etilen glikol 20% pada pemanasan dengan suhu 230°C selama 30 menit memiliki resistensi rata-rata paling rendah bila dibandingkan dengan suhu pemanasan 170, 185, 200 dan 215°C yaitu sebesar 3,5202 Ω .
4. Pola konduktif dengan penambahan 1 mL etilen glikol 20% pada pemanasan selama 45 menit pada suhu 230°C memiliki resistensi rata-rata paling rendah bila dibandingkan dengan penambahan etilen glikol dengan waktu pemanasan 15, 30, 60, 75 menit yaitu sebesar 1,5898 Ω .

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah studi lebih lanjut mengenai tinta konduktif sehingga dapat diterapkan pada substrat yang fleksibel.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, J.P., Wark, A.W., Brevet, P.F., Girault, H.H., 2002. Preparation of silver nanoparticles in solution from a silver salt by laser irradiation. *Chemical Communications* 792–793. doi:10.1039/b200272h
- Banfield, J., 2000. Understanding and Measuring Electrical Resistivity in Conductive Inks and Adhesives. *SGIA Journal* 6, 29–36.
- Bidoki, S.M., Lewis, D.M., Clark, M., Vakorov, A., Millner, P.A., McGorman, D., 2007. Ink-jet fabrication of electronic components. *Journal of Micromechanics and Microengineering* 17, 967–974. doi:10.1088/0960-1317/17/5/017
- Chang, Y., Wang, D.-Y., Tai, Y.-L., Yang, Z.-G., 2012. Preparation, characterization and reaction mechanism of a novel silver-organic conductive ink. *Journal of Materials Chemistry* 22, 25296. doi:10.1039/c2jm34569b
- Chen, S.-P., Chiu, H.-L., Wang, P.-H., Liao, Y.-C., 2015. Inkjet Printed Conductive Tracks for Printed Electronics. *ECS Journal of Solid State Science and Technology* 4, P3026–P3033. doi:10.1149/2.0061504jss
- Crisp, R.W., Panthani, M.G., Rance, W.L., Duenow, J.N., Parilla, P.A., Callahan, R., Dabney, M.S., Berry, J.J., Talapin, D.V., Luther, J.M., 2014. Nanocrystal Grain Growth and Device Architectures for High-Efficiency CdTe Ink-Based Photovoltaics. *ACS Nano* 8, 9063–9072. doi:10.1021/nn502442g
- Dietrich, R., 1997. Carbon-conductive Inks - Fields of Application and potential for Rationalisation and Cost Reduction. Lackwerke peters GmbH and Co KG.
- Dong, Y., Li, X., Liu, S., Zhu, Q., Li, J.-G., Sun, X., 2015. Facile synthesis of high silver content MOD ink by using silver oxalate precursor for inkjet printing applications. *Thin Solid Films* 589, 381–387. doi:10.1016/j.tsf.2015.06.001
- Du, X., Wang, L., Zhao, W., Wang, Y., Qi, T., Li, C.M., 2016. Preparation of hierarchical porous carbon from waste

- printed circuit boards for high performance electric double-layer capacitors. *Journal of Power Sources* 323, 166–173. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.05.054
- Estrada-Ruiz, R.H., Flores-Campos, R., Gámez-Altamirano, H.A., Velarde-Sánchez, E.J., 2016. Separation of the metallic and non-metallic fraction from printed circuit boards employing green technology. *Journal of Hazardous Materials* 311, 91–99. doi:10.1016/j.jhazmat.2016.02.061
- Ghosale, A., Shankar, R., Ganesan, V., Shrivastava, K., 2016. Direct-Writing of Paper Based Conductive Track using Silver Nano-ink for Electroanalytical Application. *Electrochimica Acta* 209, 511–520. doi:10.1016/j.electacta.2016.05.109
- Henson, R.N., 2015. Analysis of Variance (ANOVA), in: *Brain Mapping*. Elsevier, pp. 477–481.
- Hollis, J.M., Lovas, F.J., Jewell, P.R., Coudert, L.H., 2002. Interstellar Antifreeze: Ethylene Glycol. *The Astrophysical Journal* 571, L59–L62. doi:10.1086/341148
- Hong, S., Yeo, J., Kim, G., Kim, D., Lee, H., Kwon, J., Lee, H., Lee, P., Ko, S.H., 2013. Nonvacuum, Maskless Fabrication of a Flexible Metal Grid Transparent Conductor by Low-Temperature Selective Laser Sintering of Nanoparticle Ink. *ACS Nano* 7, 5024–5031. doi:10.1021/nn400432z
- Karaguzel, B., 2006. Printing Conductive Inks on Nonwovens: Challenges and Opportunities.
- Keeler, R., 1985. Polymer Thick Film Connect for Low Cost Conductive Applications. *Electronic Packaging and Production*.
- Kim, J., Lin, P., Kim, W.S., 2012. Mechanically robust superoleophobic stamp for direct stamping of silver nanoparticle ink. *Thin Solid Films* 520, 4339–4343. doi:10.1016/j.tsf.2012.02.070
- Krebs, F.C., Jørgensen, M., Norrman, K., Hagemann, O., Alstrup, J., Nielsen, T.D., Fyenbo, J., Larsen, K., Kristensen, J.,

2009. A complete process for production of flexible large area polymer solar cells entirely using screen printing—First public demonstration. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 93, 422–441. doi:10.1016/j.solmat.2008.12.001
- Layani, M., Cooperstein, I., Magdassi, S., 2013. UV crosslinkable emulsions with silver nanoparticles for inkjet printing of conductive 3D structures. *Journal of Materials Chemistry C* 1, 3244–3249.
- Lee, C., Kang, B.J., Oh, J.H., 2016. High-resolution conductive patterns fabricated by inkjet printing and spin coating on wettability-controlled surfaces. *Thin Solid Films* 616, 238–246. doi:10.1016/j.tsf.2016.08.027
- Lee, S.-K., Kim, B.J., Jang, H., Yoon, S.C., Lee, C., Hong, B.H., Rogers, J.A., Cho, J.H., Ahn, J.-H., 2011. Stretchable Graphene Transistors with Printed Dielectrics and Gate Electrodes. *Nano Letters* 11, 4642–4646. doi:10.1021/nl202134z
- Meyer, P., Rimsky, A., Chevalier, R., 1978. Structure du nitrate d'argent à pression et température ordinaires. Exemple de cristal parfait. *Acta Crystallographica Section B Structural Crystallography and Crystal Chemistry* 34, 1457–1462. doi:10.1107/S0567740878005907
- Mickan, M., Helmersson, U., Rinnert, H., Ghanbaja, J., Muller, D., Horwat, D., 2016. Room temperature deposition of homogeneous, highly transparent and conductive Al-doped ZnO films by reactive high power impulse magnetron sputtering. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 157, 742–749. doi:10.1016/j.solmat.2016.07.020
- Nazarenko, N., Lazaridis, C.N., 1982. Polymer Thick Film and Dielectrics for Membrane Switches and Flexible Circuitry. *The International Journal for Hybrid Microelectronics* 5, 363 – 372.
- Osborn, S., 2013. Makers at work: folks reinventing the world one object or idea at a time.

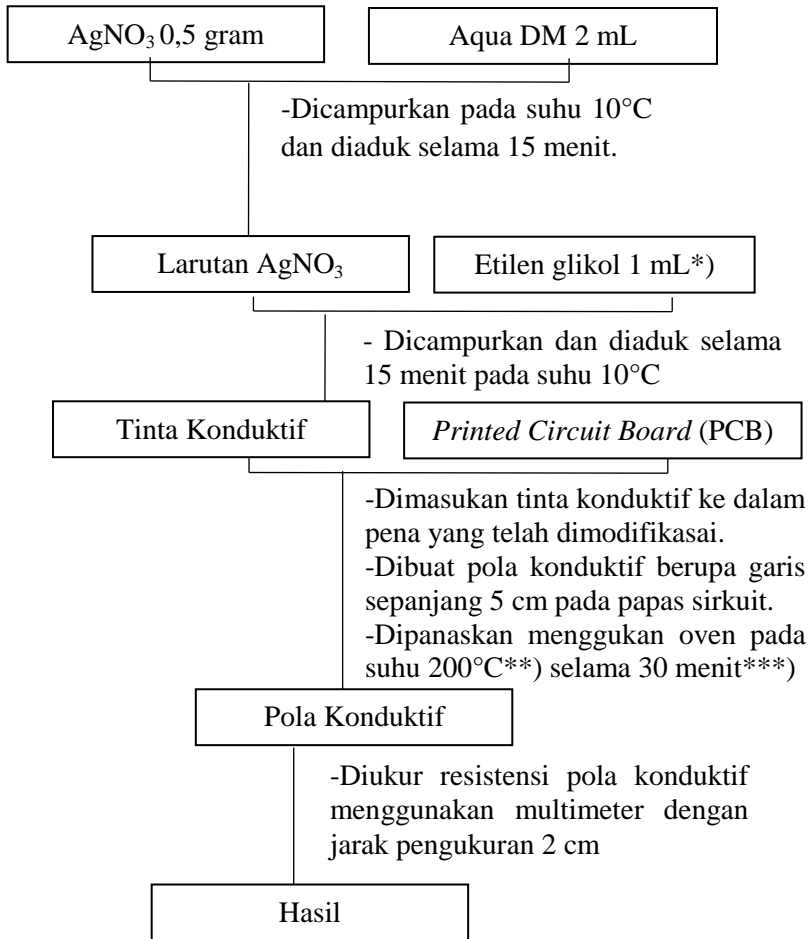
- Perelaer, J., de Gans, B.-J., Schubert, U.S., 2006. Ink-jet printing and microwave sintering of conductive silver tracks. *Advanced materials* 18, 2101–2104.
- Perelaer, J., Smith, P.J., Mager, D., Soltman, D., Volkman, S.K., Subramanian, V., Korvink, J.G., Schubert, U.S., 2010. Printed electronics: the challenges involved in printing devices, interconnects, and contacts based on inorganic materials. *Journal of Materials Chemistry* 20, 8446–8453.
- Reinhold, I., Hendriks, C.E., Eckardt, R., Kranenburg, J.M., Perelaer, J., Baumann, R.R., Schubert, U.S., 2009. Argon plasma sintering of inkjet printed silver tracks on polymer substrates. *Journal of Materials Chemistry* 19, 3384–3388.
- Rossi, F., Mirtchev, V., 2016. Analysis of Variance (ANOVA), in: *Statistics for Food Scientists*. Elsevier, pp. 19–29.
- Rui, X., Zhu, J., Liu, W., Tan, H., Sim, D., Xu, C., Zhang, H., Ma, J., Hng, H.H., Lim, T.M., Yan, Q., 2011. Facile preparation of hydrated vanadium pentoxide nanobelts based bulky paper as flexible binder-free cathodes for high-performance lithium ion batteries. *RSC Advances* 1, 117. doi:10.1039/c1ra00281c
- Russo, A., Ahn, B.Y., Adams, J.J., Duoss, E.B., Bernhard, J.T., Lewis, J.A., 2011. Pen-on-Paper Flexible Electronics. *Advanced Materials* 23, 3426–3430. doi:10.1002/adma.201101328
- Sara E. Skrabalak, Benjamin J. Willey, Munho Kim, Eric V. Formo, Younan Xia, 2008. On the Polyol Synthesis of Silver Nanostructure: Glycolaldehyde as a Reducing Agent 8.
- Sauro, J., Lewis, J.R., 2016. Wrapping up, in: *Quantifying the User Experience*. Elsevier, pp. 321–325.
- Shankar, R., Groven, L., Amert, A., Whites, K.W., Kellar, J.J., 2011. Non-aqueous synthesis of silver nanoparticles using tin acetate as a reducing agent for the conductive ink formulation in printed electronics. *Journal of Materials Chemistry* 21, 10871. doi:10.1039/c0jm04521g

- Stern, K.H., 1972. High Temperature Properties and Decomposition of Inorganic Salts Part 3, Nitrates and Nitrites. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 1, 747. doi:10.1063/1.3253104
- Tao, Y., Wang, L., Tao, Y., Wang, B., Tai, Y., 2013. A facile approach to a silver conductive ink with high performance for macroelectronics. *Nanoscale Research Letters* 8, 296. doi:10.1186/1556-276X-8-296
- Teng, W.D., Edirisinghe, M.J., 1997. Development of Ceramic Inks for Jet Printing: Effect of Conductivity. *Euro Ceramics V*.
- Torrise, F., Hasan, T., Wu, W., Sun, Z., Lombardo, A., Kulmala, T.S., Hsieh, G.-W., Jung, S., Bonaccorso, F., Paul, P.J., Chu, D., Ferrari, A.C., 2012. Inkjet-Printed Graphene Electronics. *ACS Nano* 6, 2992–3006. doi:10.1021/nn2044609
- Williams, L.J., Abdi, H., 2010. Fisher's Least Significant Difference (LSD) Test.
- Wu, J.-T., Hsu, S.L.-C., Tsai, M.-H., Hwang, W.-S., 2009. Conductive silver patterns via ethylene glycol vapor reduction of ink-jet printed silver nitrate tracks on a polyimide substrate. *Thin Solid Films* 517, 5913–5917. doi:10.1016/j.tsf.2009.04.049

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja



*) 0, 10, 20, 30, 40%

**) 170, 185, 215, 230 °C

***) 15, 45, 60 dan 75 menit

Lampiran 2. Perhitungan

1. Pembuatan Variasi Larutan Etilen Glikol

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$99,5\% \times V_1 = 40\% \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10,5 \text{ mL}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan hasil sebagai berikut

| C_1 (%) | V_1 (mL) | C_2 (%) | V_2 (mL) |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 99,5 | 10,5 | 40 | 25 |
| 40 | 18,75 | 30 | 25 |
| 40 | 5 | 20 | 10 |
| 40 | 2,5 | 10 | 10 |

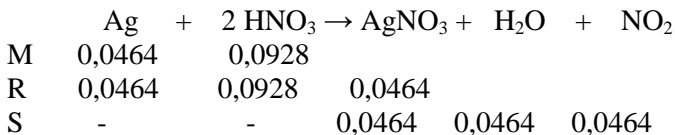
2. Pembuatan Perak Nitrat

$$\text{Mol AgNO}_3 = \frac{\text{Massa AgNO}_3}{\text{MR. AgNO}_3}$$

$$= \frac{5 \text{ gram}}{107,87 \text{ gram/mol}}$$

$$= 0,0464 \text{ mol}$$

Menurut reaksi:



Maka dibutuhkan 0,0928 mol HNO_3

$$\begin{aligned}
 \text{Volume HNO}_3 &= \text{mol} : \text{Molar} \\
 &= 0,0928 : 15,476
 \end{aligned}$$

$$= 0,0059 \text{ L}$$

$$= 5,9 \text{ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa AgNO}_3 \text{ teori} &= 0,0464 \times 170 \\ &= 7,88 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen AgNO}_3 &= \frac{\text{Massa AgNO}_3 \text{ percobaan}}{\text{Massa AgNO}_3 \text{ teori}} \\ &= \frac{7,76 \text{ gram}}{7,88 \text{ gram}} \times 100\% \\ &= 98,4772\% \end{aligned}$$

3. Perhitungan LSD

LSD konsentrasi etilen glikol dihitung dengan persamaan 2.9

$$\text{LSD} = 2,086 \sqrt{\frac{2(149,075)}{5}}$$

$$\text{LSD} = 16,108$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan nilai LSD suhu dan waktu pemanasan.

| Variasi | Nilai LSD |
|---------------------------|-----------|
| Konsentrasi etilen glikol | 16,108 |
| Suhu pemanasan | 232,516 |
| Waktu pemanasan | 2,809 |

Lampiran 3. Data Analisis Sampel

1. Hasil Pengukuran Resistensi Variasi Volume Etilen Glikol dalam Tinta Konduktif.

| Etilen glikol (1mL) | R (Ω) | | | | | Rata-rata |
|---------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | |
| 0% | 6,513 | 15,367 | 38,177 | 47,504 | 74,410 | 36,3942 |
| 10% | 9,082 | 6,437 | 9,737 | 6,351 | 7,984 | 7,9182 |
| 20% | 5,500 | 7,112 | 5,802 | 6,219 | 9,871 | 6,901 |
| 30% | 8,777 | 12,791 | 11,145 | 8,443 | 9,110 | 10,0532 |
| 40% | 13,636 | 13,364 | 11,075 | 17,858 | 18,323 | 14,8512 |

2. Hasil Pengukuran Resistensi Pada Variasi Suhu Pemanasan

| Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | R (Ω) | | | | | Rata- rata |
|-----------------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | |
| 170 | 543289,274 | 364789,283 | 273549,345 | 367194,867 | 152637,897 | 340292,133 |
| 185 | 1250,301 | 1371,896 | 2134,632 | 1673,923 | 1463,478 | 1579,246 |
| 200 | 5,500 | 7,112 | 5,802 | 6,219 | 9,871 | 6,901 |
| 215 | 3,343 | 4,443 | 3,559 | 4,465 | 4,703 | 4,103 |
| 230 | 2,501 | 2,853 | 3,623 | 4,298 | 4,326 | 3,520 |

3. Hasil Pengukuran Resistensi pada Variasi Waktu Pemanasan

| Waktu (menit) | R (Ω) | | | | | Rata-rata |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | |
| 15 | 20,110 | 25,441 | 18,405 | 17,401 | 12,731 | 18,8176 |
| 30 | 2,501 | 2,853 | 3,623 | 4,298 | 4,326 | 3,5202 |
| 45 | 1,220 | 2,201 | 1,614 | 1,473 | 1,441 | 1,5898 |
| 60 | 3,598 | 2,616 | 1,765 | 1,998 | 2,117 | 2,4188 |
| 75 | 1,597 | 1,173 | 1,671 | 2,121 | 1,820 | 1,6764 |

4. Perhitungan Data Statistik Nilai Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Konsentrasi Etilen Glikol untuk Uji ANOVA

| ANOVA: Single Factor | | | | | |
|---------------------------|--------------|------------|----------------|-----------------|--|
| SUMMARY | | | | | |
| <i>Konsentrasi EG (%)</i> | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> | |
| 0 | 5 | 181.971 | 36.3942 | 726.7091 | |
| 10 | 5 | 39.591 | 7.9182 | 2.329216 | |
| 20 | 5 | 34.504 | 6.9008 | 3.125287 | |
| 30 | 5 | 50.266 | 10.0532 | 3.449658 | |
| 40 | 5 | 74.256 | 14.8512 | 9.760601 | |

5. Uji ANOVA Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Konsentrasi Etilen Glikol

| ANOVA | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| Between Groups | 2988.519 | 4 | 747.130 | 5.012 | 0.006 | 2.866 |
| Within Groups | 2981.495 | 20 | 149.074 | | | |
| Total | 5970.015 | 24 | | | | |

6. Perhitungan Data Statistik Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Suhu Pemanasan untuk uji ANOVA

| | | | | |
|----------------------|-------|---------|----------|----------|
| ANOVA: Single Factor | | | | |
| SUMMARY | | | | |
| Suhu (°C) | Count | Sum | Average | Variance |
| 185 | 5 | 7896.23 | 1579.246 | 120298.3 |
| 200 | 5 | 34.504 | 6.9008 | 3.125287 |
| 215 | 5 | 20.513 | 4.1026 | 0.370045 |
| 230 | 5 | 17.601 | 3.5202 | 0.687195 |

7. Uji ANOVA Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Suhu Pemanasan

| | | | | | | |
|---------------------|----------|----|----------|---------|----------|----------|
| ANOVA | | | | | | |
| Source of Variation | SS | df | MS | F | P-value | F crit |
| Between Groups | 9295347 | 3 | 3098449 | 103.022 | 1.12E-10 | 3.238872 |
| Within Groups | 481209.7 | 16 | 30075.61 | | | |
| Total | 9776557 | 19 | | | | |

8. Perhitungan Data Statistik Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Waktu Pemanasan untuk uji ANOVA

| ANOVA: Single Factor | | | | | |
|----------------------|-------|--------|---------|----------|--|
| SUMMARY | | | | | |
| Waktu (menit) | Count | Sum | Average | Variance | |
| 15 | 5 | 94.088 | 18.8176 | 21.19085 | |
| 30 | 5 | 17.601 | 3.5202 | 0.687195 | |
| 45 | 5 | 7.949 | 1.5898 | 0.136672 | |
| 60 | 5 | 12.094 | 2.4188 | 0.531253 | |
| 75 | 5 | 8.382 | 1.6764 | 0.119509 | |

9. Uji ANOVA Resistensi Pola Konduktif pada Variasi Waktu Pemanasan

| ANOVA | | | | | | |
|---------------------|----------|----|---------|--------|----------|--------|
| Source of Variation | SS | df | MS | F | P-value | F crit |
| Between Groups | 1103.134 | 4 | 275.784 | 60.838 | 6.54E-11 | 2.866 |
| Within Groups | 90.662 | 20 | 4.533 | | | |
| Total | 1193.796 | 24 | | | | |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Nafis Qurtubi. Penulis yang dilahirkan di Surabaya, 31 Maret 1995 ini merupakan anak kedua pasangan Bapak Satemo dan Ibu Choirun Nisa. Dengan satu orang kakak laki – laki yaitu Muflih Mustabiqul Khoir. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Ma'arif Al-Fattah (1999-2001), SD Ma'arif Al-Fattah Surabaya (2001-2007), SMPN 16 Surabaya (2007-2010), dan SMAN 3 Sidoarjo (2010-2012). Penulis melanjutkan jenjang pendidikan S1 di Jurusan

Kimia FMIPA melalui jalur SNMPTN tulis dan terdaftar dengan Nomor Registrasi Pokok (NRP) 1412100062. Pada tahun kedua penulis pernah menjadi staff Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) pada Divisi Entrepreneur periode 2013-2014 dan menjadi kepala Departemen Perekonomian HIMKA periode 2014 - 2015. Penulis pernah menjalani kerja praktik di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo. Selama kerja praktik, penulis ditempatkan di laboratorium *Quality Control* (QC) dan bagian Produksi. Penulis menyelesaikan program Sarjana dengan mengambil tugas akhir di bidang Kimia Analitik dibawah bimbingan Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si. Penulis dapat dihubungi melalui qurtubinafis@gmail.com.